



RCNP研究会
「核変換技術の展開－医用RI製造と核廃棄物処分」
2011年12月2～3日 @RCNP4階講義室



RCNPにおける 核破砕中性子利用実験と 施設整備

大阪大学 核物理研究センター
Research Center for Nuclear Physics (RCNP)

福田 光宏



Contents

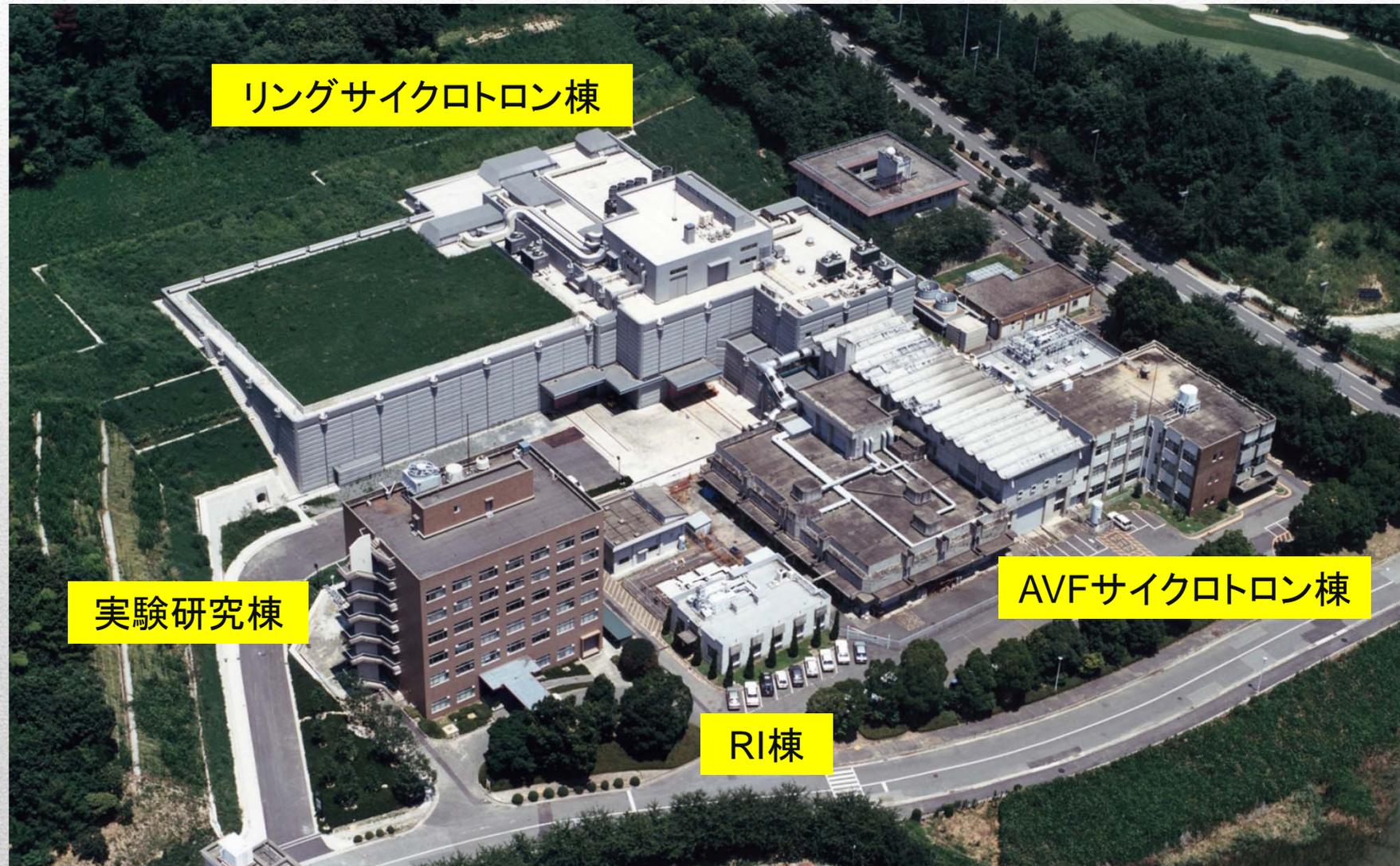
1. RCNPサイクロトロン施設の現状
 2. RI生成・利用実験について
 3. 核破砕反応を用いた白色中性子源
-



1. RCNPサイクロトロン施設 の現状

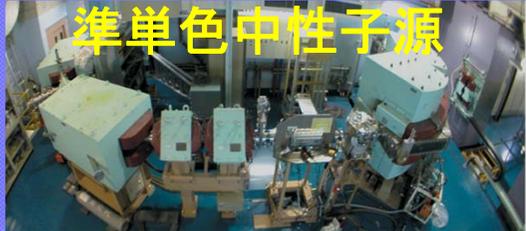
大阪大学 核物理研究センター

Research Center for Nuclear Physics (RCNP)



RCNPサイクロトロン施設

準単色中性子源



超冷中性子源

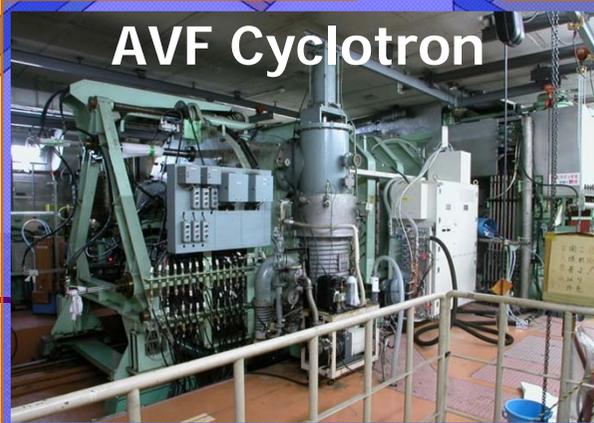


Ring Cyclotron



K=400 MeV
 $\Delta E/E \sim 0.01\%$
Since 1992

AVF Cyclotron

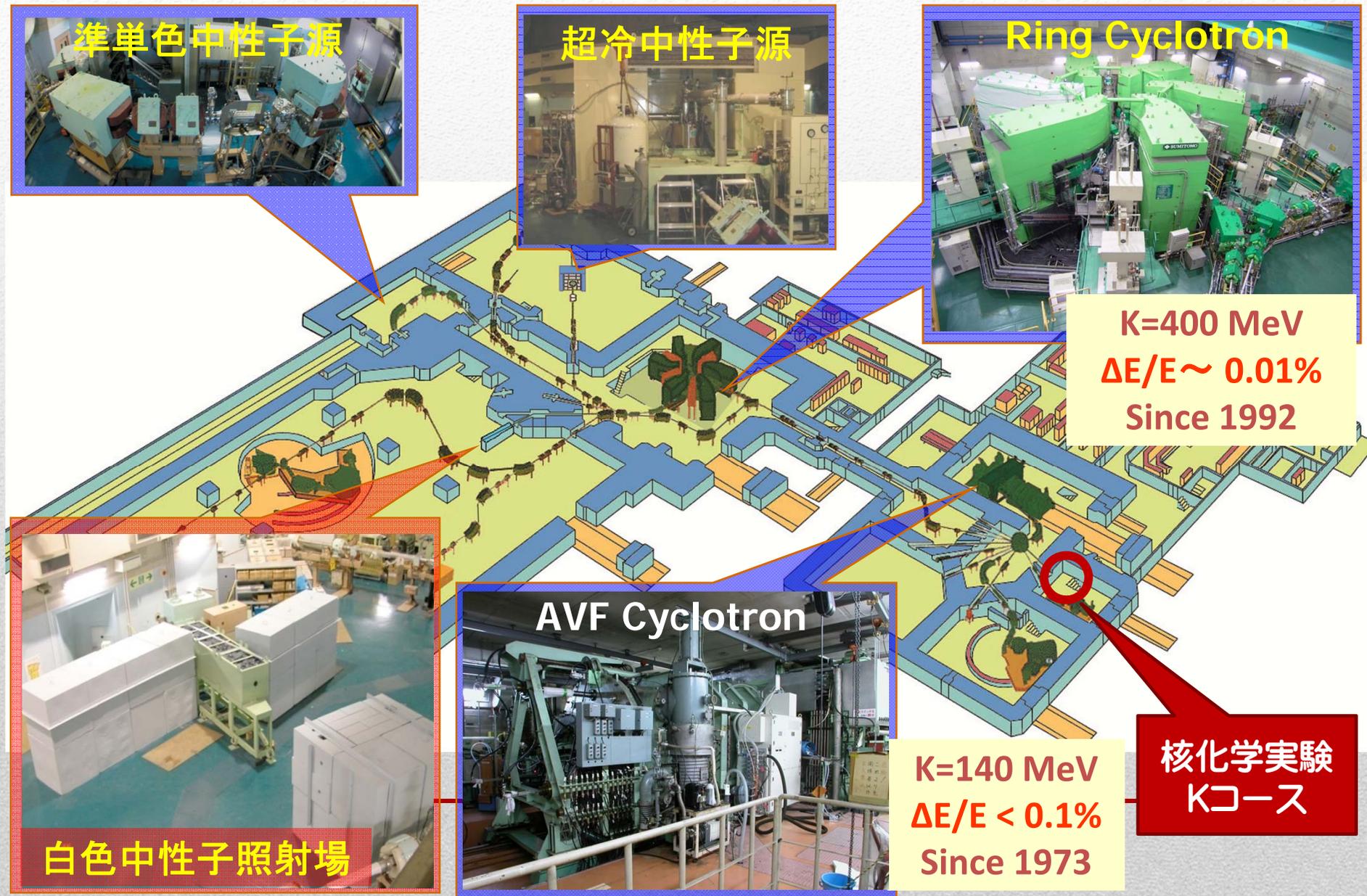


K=140 MeV
 $\Delta E/E < 0.1\%$
Since 1973

白色中性子照射場



核化学実験
Kコース

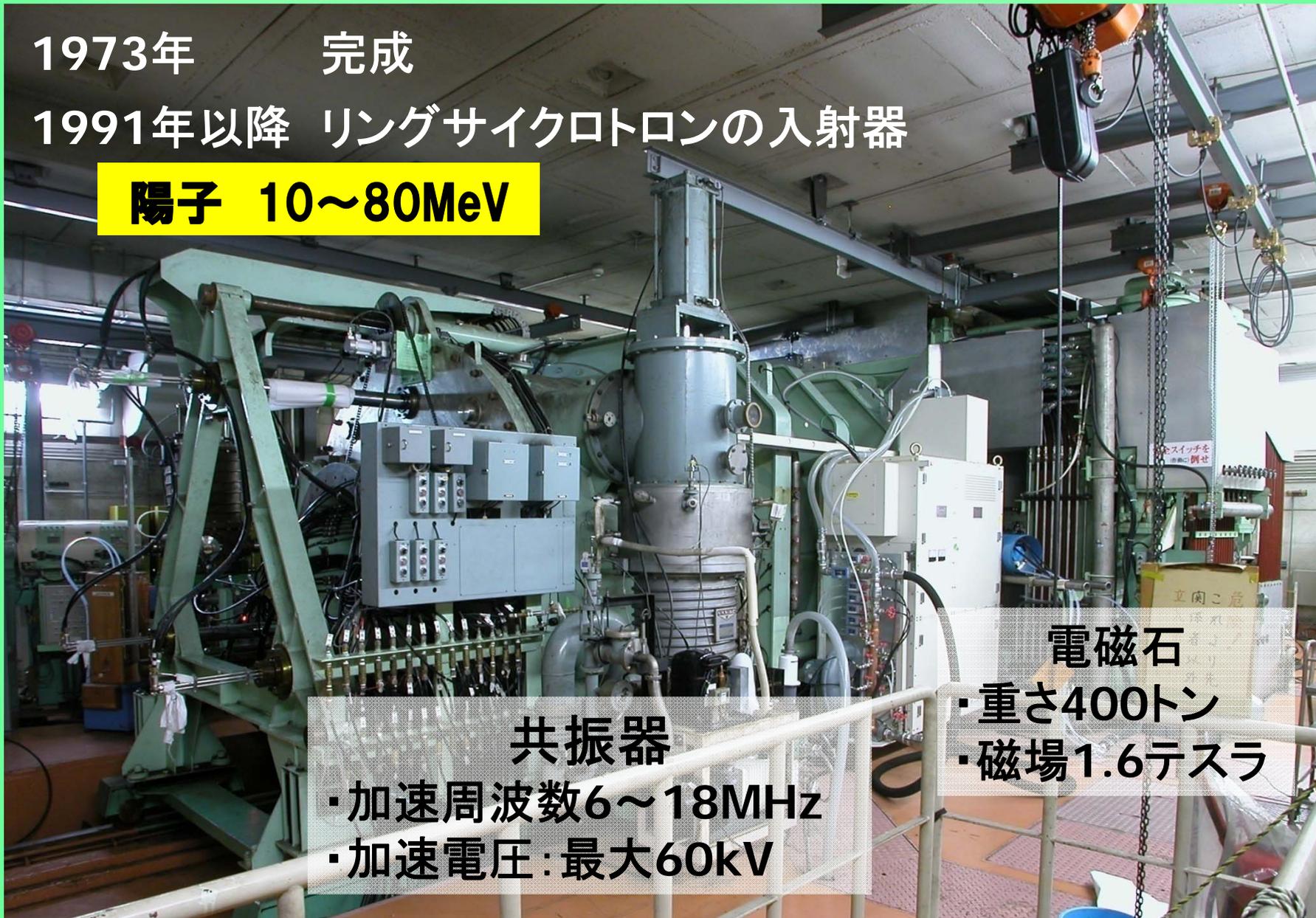


RCNP AVFサイクロトロン (K=140MeV)

1973年 完成

1991年以降 リングサイクロトロンの入射器

陽子 10~80MeV



共振器

- ・加速周波数6~18MHz
- ・加速電圧:最大60kV

電磁石

- ・重さ400トン
- ・磁場1.6テスラ

RCNPリングサイクロトロン (K=400MeV)

1991年完成

陽子 100~420MeV

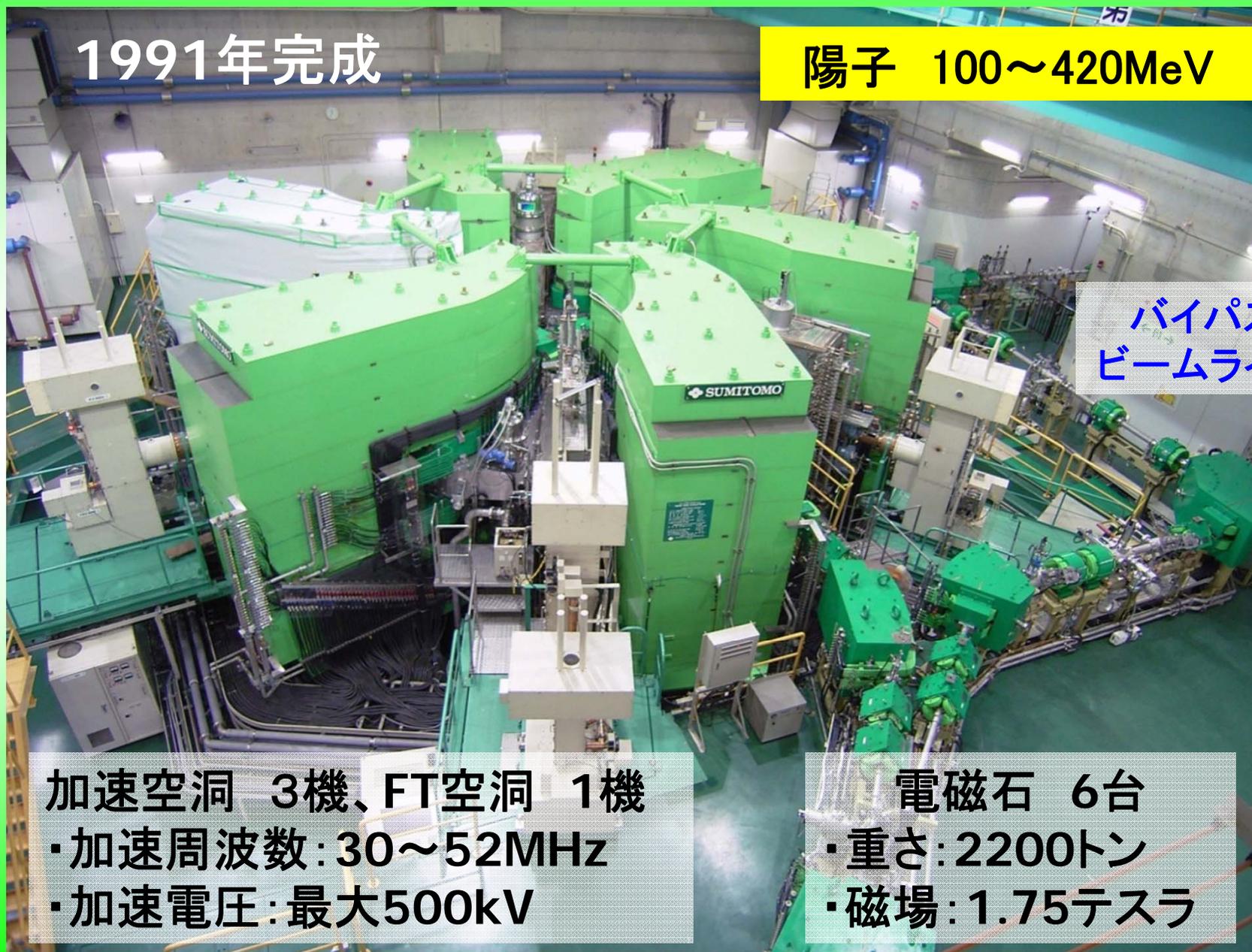
バイパス
ビームライン

加速空洞 3機、FT空洞 1機

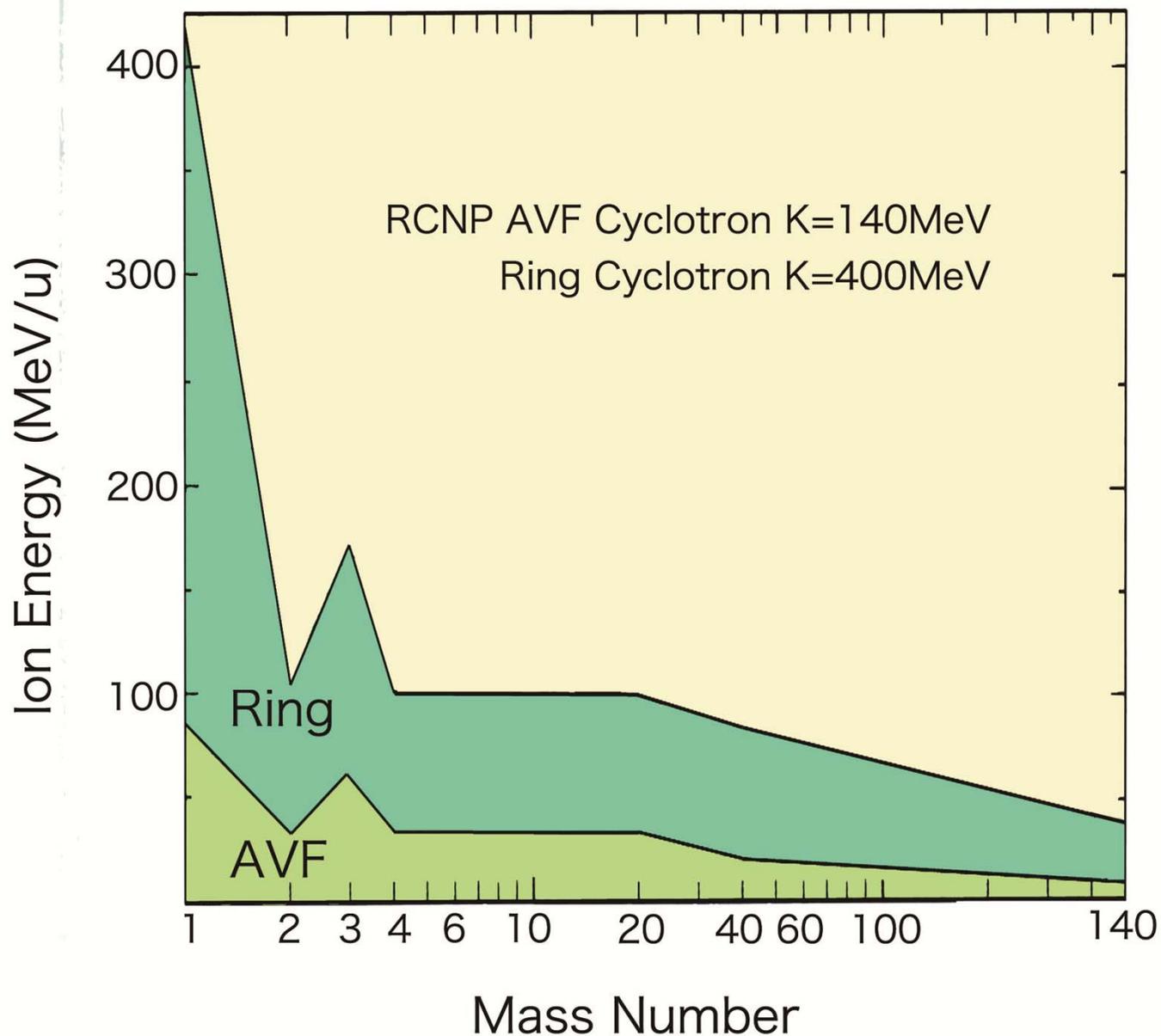
- ・加速周波数: 30~52MHz
- ・加速電圧: 最大500kV

電磁石 6台

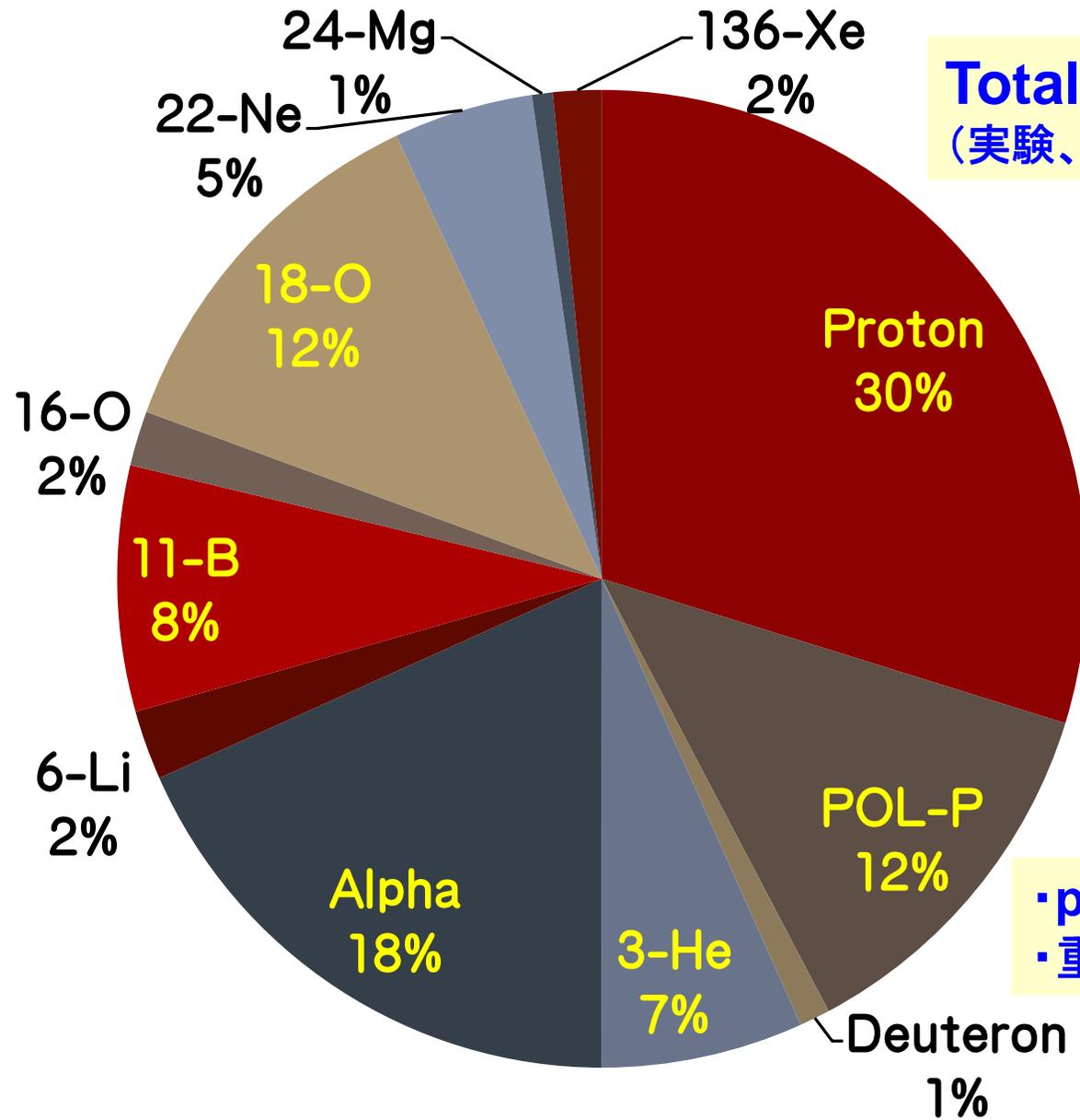
- ・重さ: 2200トン
- ・磁場: 1.75テスラ



サイクロトロン加速エネルギー範囲



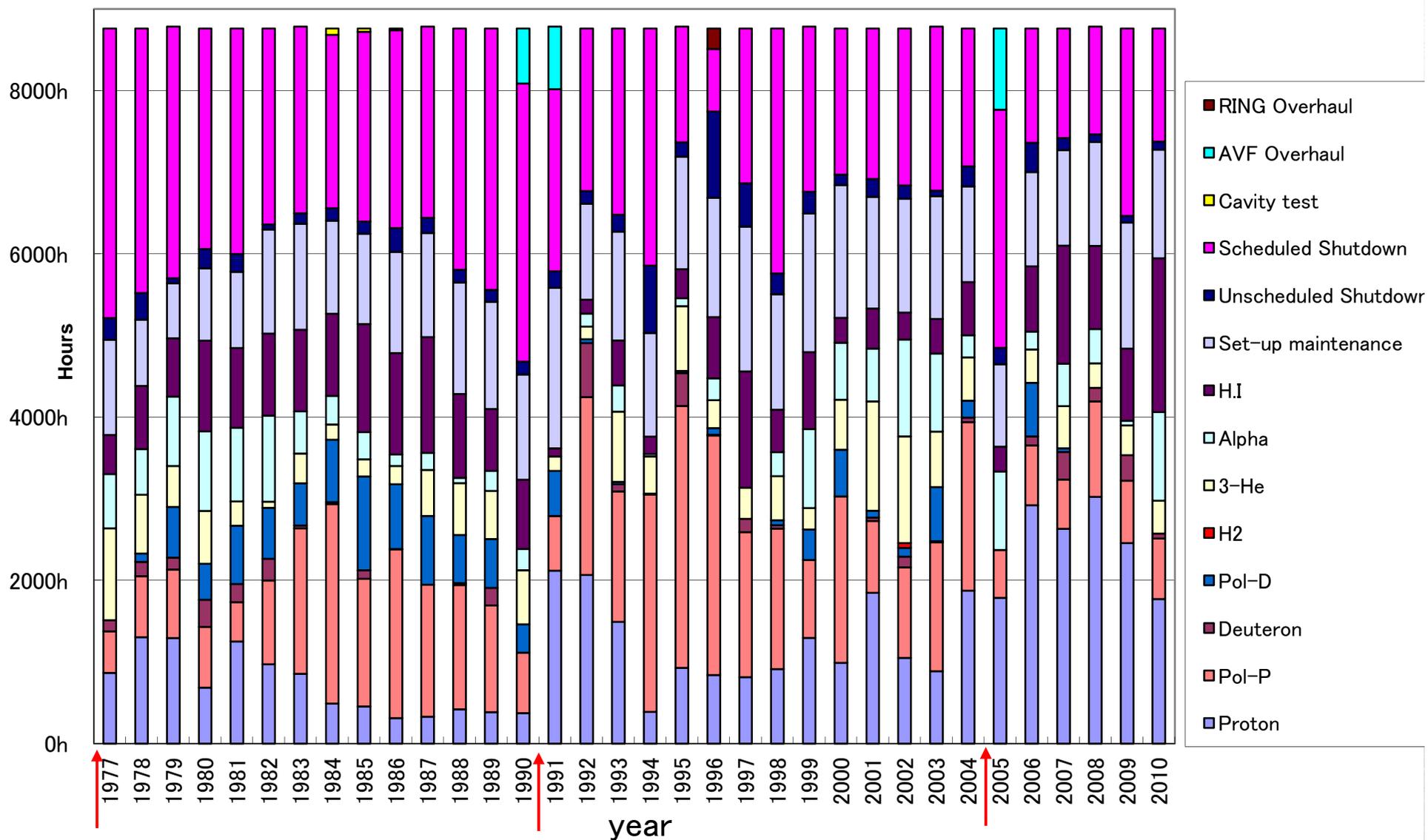
2010年の加速粒子別運転時間



Total : 5946 hours
(実験、ビーム調整、ビーム開発)

・p, d, 3He, 4He : 4062 h
・重イオン \geq Li : 1884 h

年間運転時間の推移



AVF cyclotron was commissioned

Ring cyclotron was commissioned

Developments were started to increase the intensity of H1 beams



2. RI生成・利用実験について

利用可能なイオンビームの最大電流値

●AVF cyclotron

・Proton	$E \leq 66 \text{ MeV}$	6.0 pμA
	$66 < E \leq 90 \text{ MeV}$	3.0 pμA
・Deuteron	$E \leq 57 \text{ MeV}$	6.0 pμA
	$57 < E \leq 75 \text{ MeV}$	3.0 pμA
・3He	170 MeV	6.0 pμA
・4He	140 MeV	6.0 pμA
・重イオン	35 MeV / n	6.0 pμA

承認されている放射性同位元素

- ・非密封線源

1911核種(日本一！)

- ・密封線源

14核種 31個

→利用核種が増加

【参考】施設利用者(H22年度)

- ・センター放射線業務従事者81名

- ・共同利用登録者209名

学内70名、国内114名、国外25名

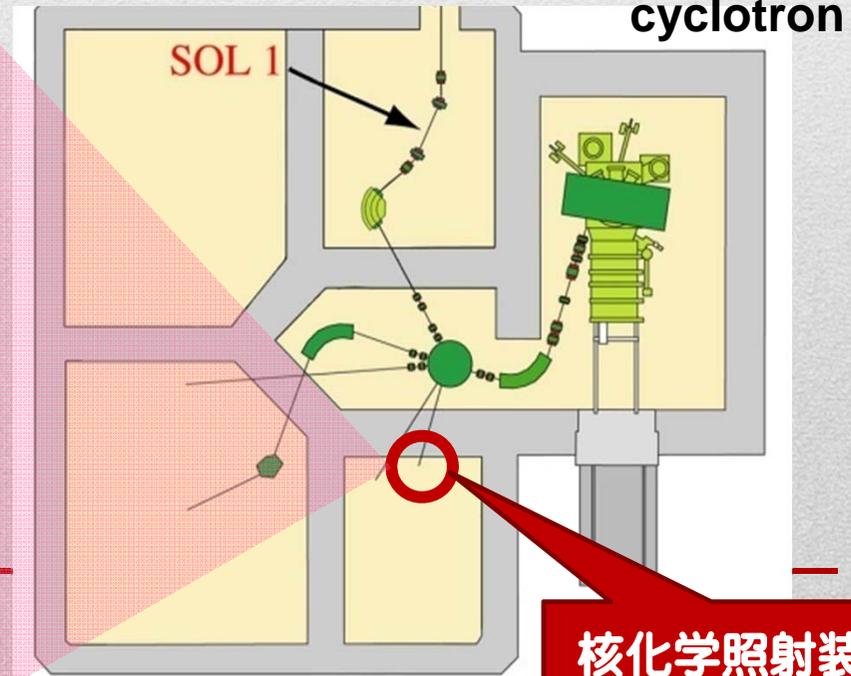
RI生成用ビームライン

2005年 AVFサイクロトロン更新

- ・RI製造専用ビームライン(Kコース)の整備
- ・核化学照射装置の導入

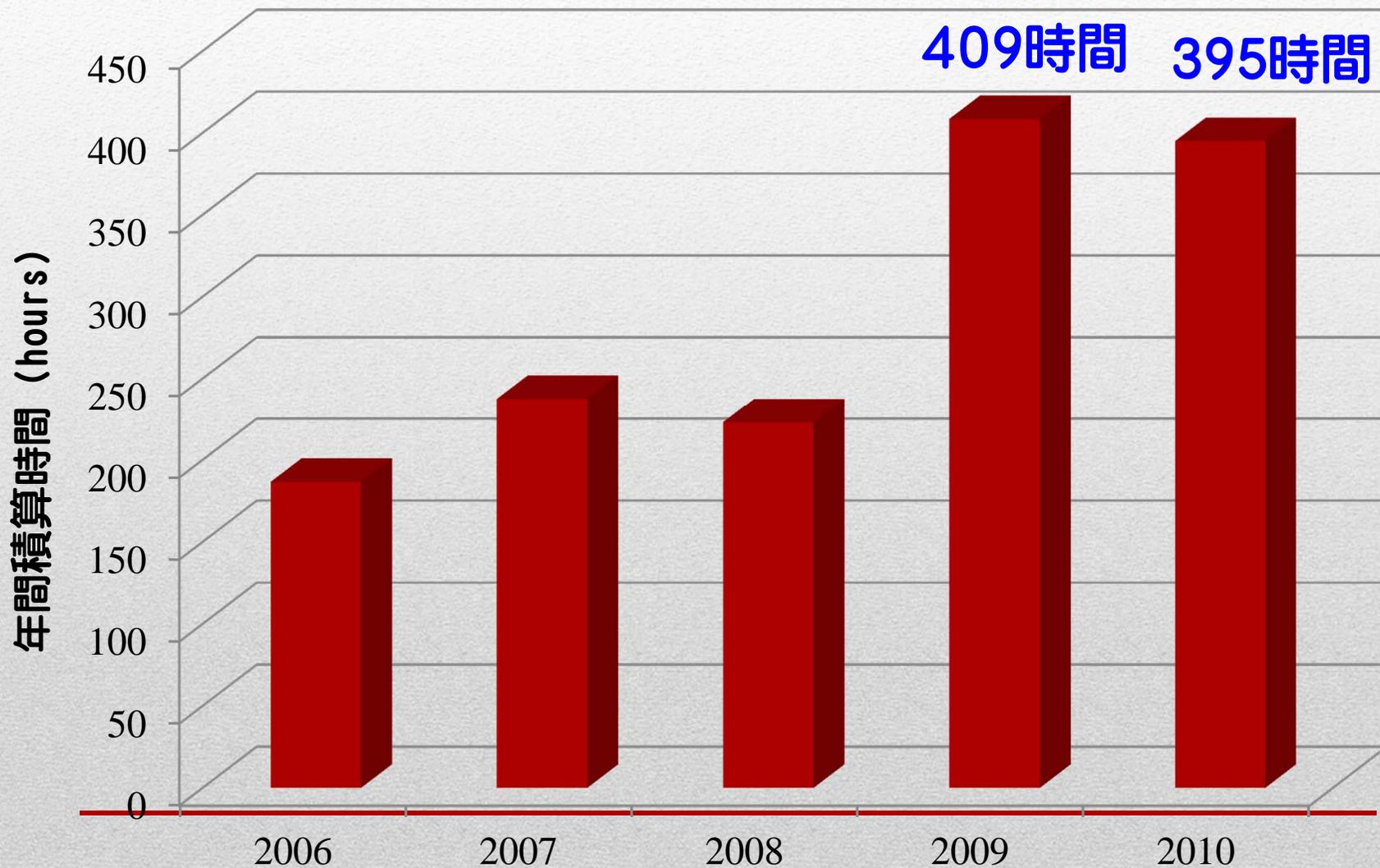
2007年 プロジェクト「重元素化学の基盤研究」採択

- ・1~2日/月程度のビームタイム



核化学照射装置

年間のRI生成実験時間





3. 核破碎反応を用いた 白色中性子源

RCNPにおける中性子源

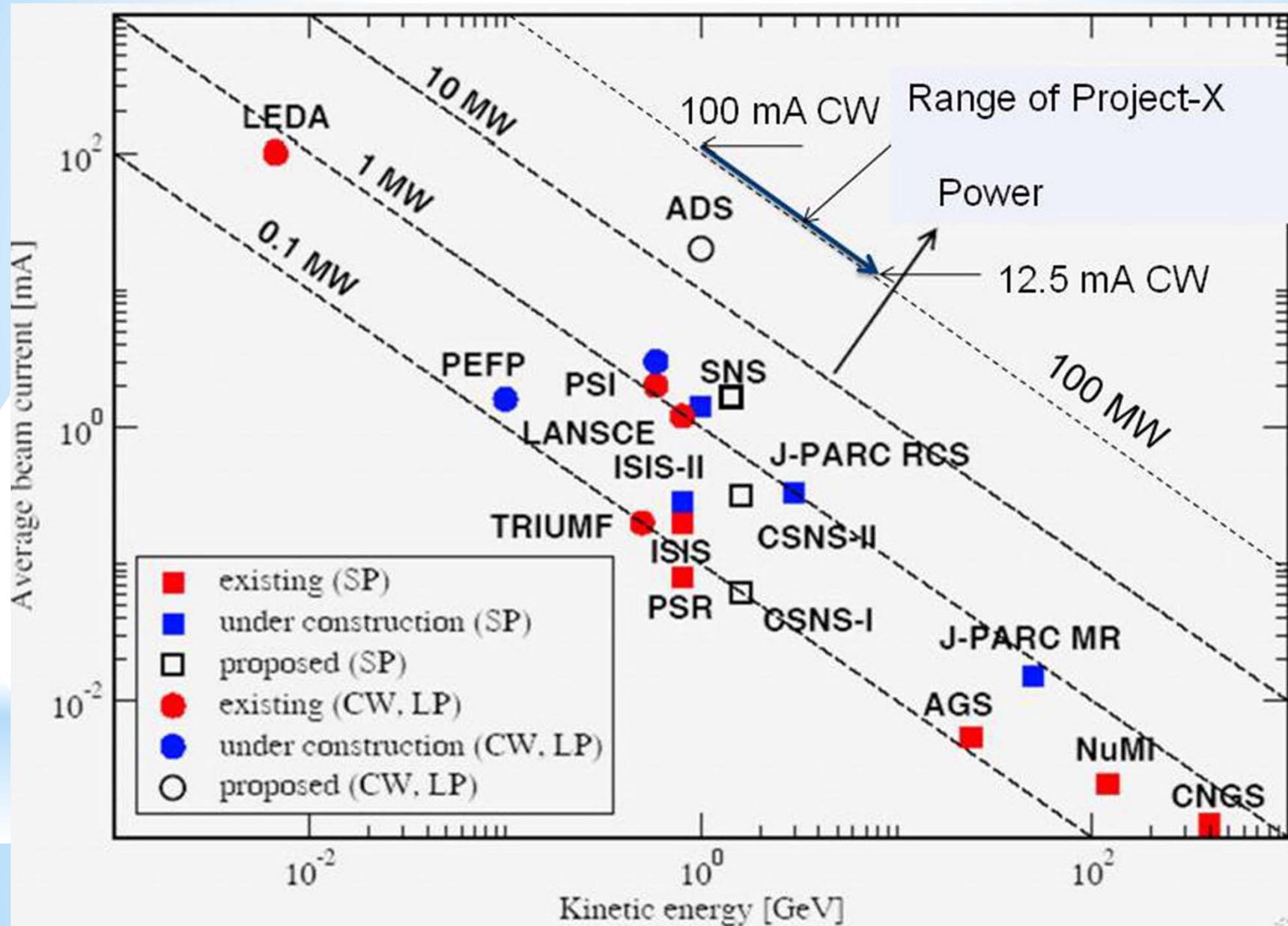
➤ 準単色中性子源

- ・陽子、重陽子を用いた荷電交換反応や核子移行反応を利用 @中性子実験室
終状態のエネルギー準位が分離できる
低エネルギー成分の比率が少ない

➤ 白色中性子源

- ・重陽子の分解反応を利用
 - ・陽子による重い原子核標的の破砕(スパレーション)反応を利用 @西実験室
-

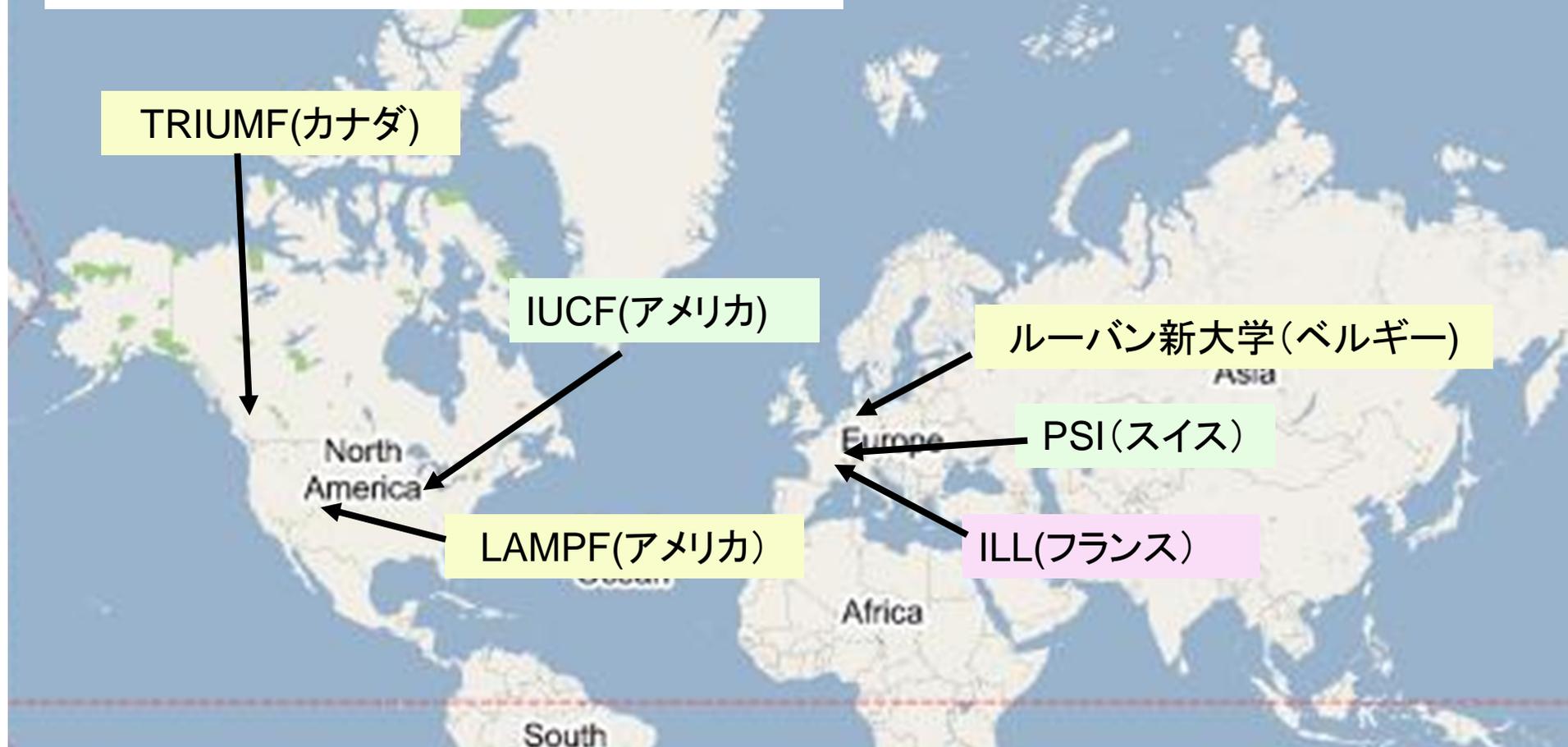
* 大強度陽子加速器の現状と将来計画



* 加速器中性子ビーム施設 (H17年データ)

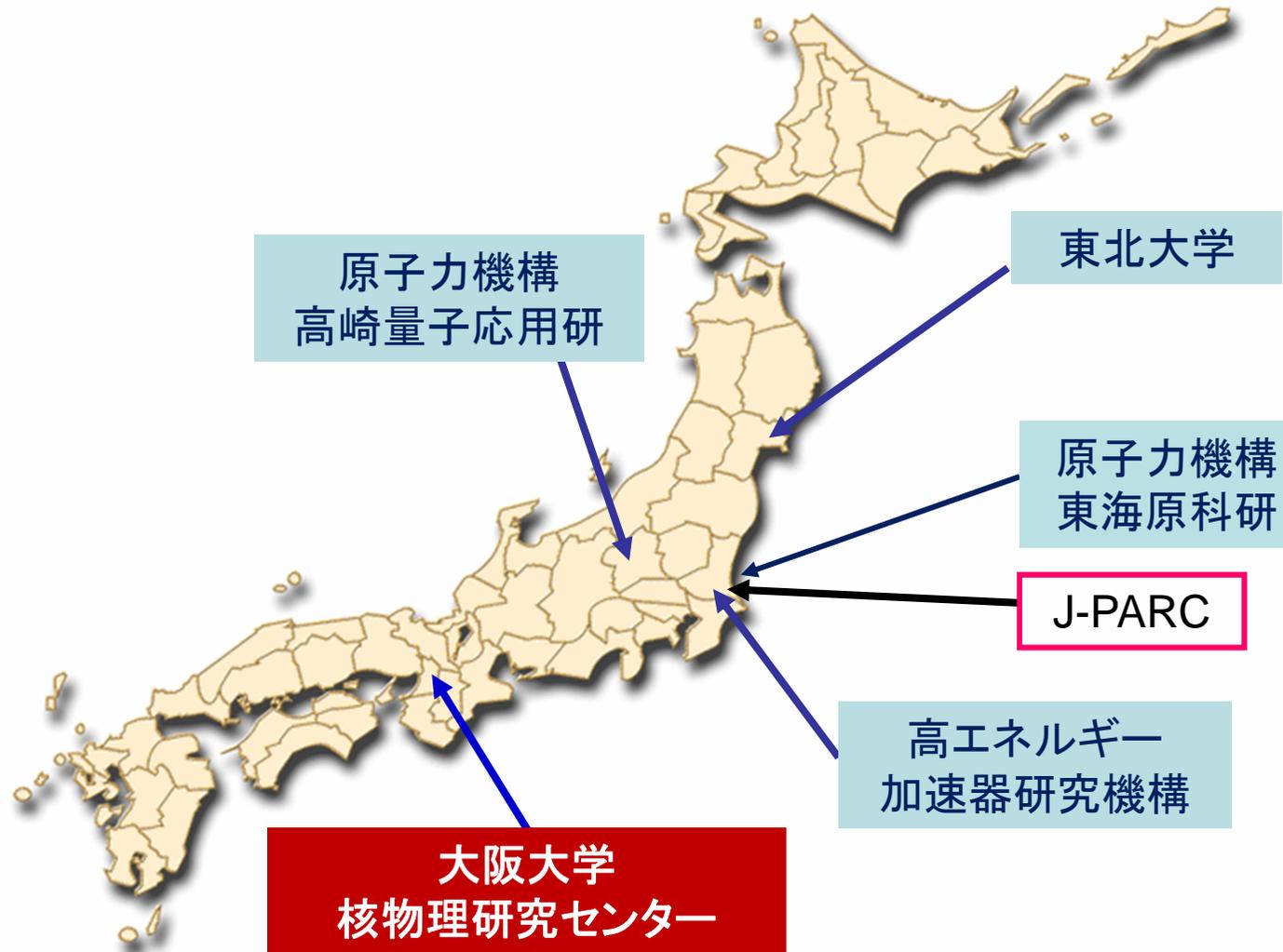
国/地域	米国			欧州			日本	
中性子源	IPNS	LANSCE	SNS	ISIS(英)	PSI(スイス)	ESS(EU)	KENS	JSNS
研究機関(所轄) /所在地	アルゴンヌ国立研究所 ANL (DOE)	ロスアラモス国立研究所 LANL (DOE)	オークリッジ国立研究所 ORNL (DOE)	ラザフォードアップルトン研究所 RAL	ポールシェラー研究所	未定	高エネ機構 KEK	原研・高エネ機構
陽子エネルギー (MeV)/ 電流(μA)	450/18	800/70	1000/1400	800/200	590/1500	1333/7500	500/9	3000/333
陽子ビーム出力	8.1kW	56kW	1.4MW	160kW	1MW	5MW/5MW	4.5kW	1MW
繰返数(Hz)	30	20	60	50	連続	10/50	20	25
ターゲット材料	濃縮U	W	Hg	Ta	ジルカロイ	Hg	W	Hg
減速材	固体メタン・水	固体メタン・水	液体水素・水	液体水素・液体メタン・水	液体重水素・重水	液体水素・固体メタン	固体メタン・水	液体水素
積分速中性子数 (n/s)	5x10 ¹⁵	6.7x10 ¹⁵	1.8x10 ¹⁷	1.8x10 ¹⁶	1.25x10 ¹⁷	6.3x10 ¹⁷	5x10 ¹⁴	1.25x10 ¹⁷
中性子散乱装置台数	12	7	24	17	15	40	15	23
中性子源完成年	1981	1983	2006.6	1985/2007	1996	?	1980	2008.4
特筆事項他	ナノサイエンスセンター併設	ナノサイエンスセンター併設	建設中(2006完成予定) ナノサイエンスセンター併設	第2ターゲット計画進行中 (2007年完成予定)		最も早い時期に計画されたが延期	世界初のパルス中性子専用施設(2006年停止予定)	建設中(2008.4完成予定)
主な研究分野	固体物性材料 高分子科学 生命科学	固体物性材料 高分子科学 生命科学	固体物性材料 高分子科学 生命科学	固体物性材料 高分子科学 生命科学	固体物性材料 高分子科学	-	固体物性材料 高分子科学 生命科学	固体物性材料 高分子科学 生命科学

国外の主な白色中性子源



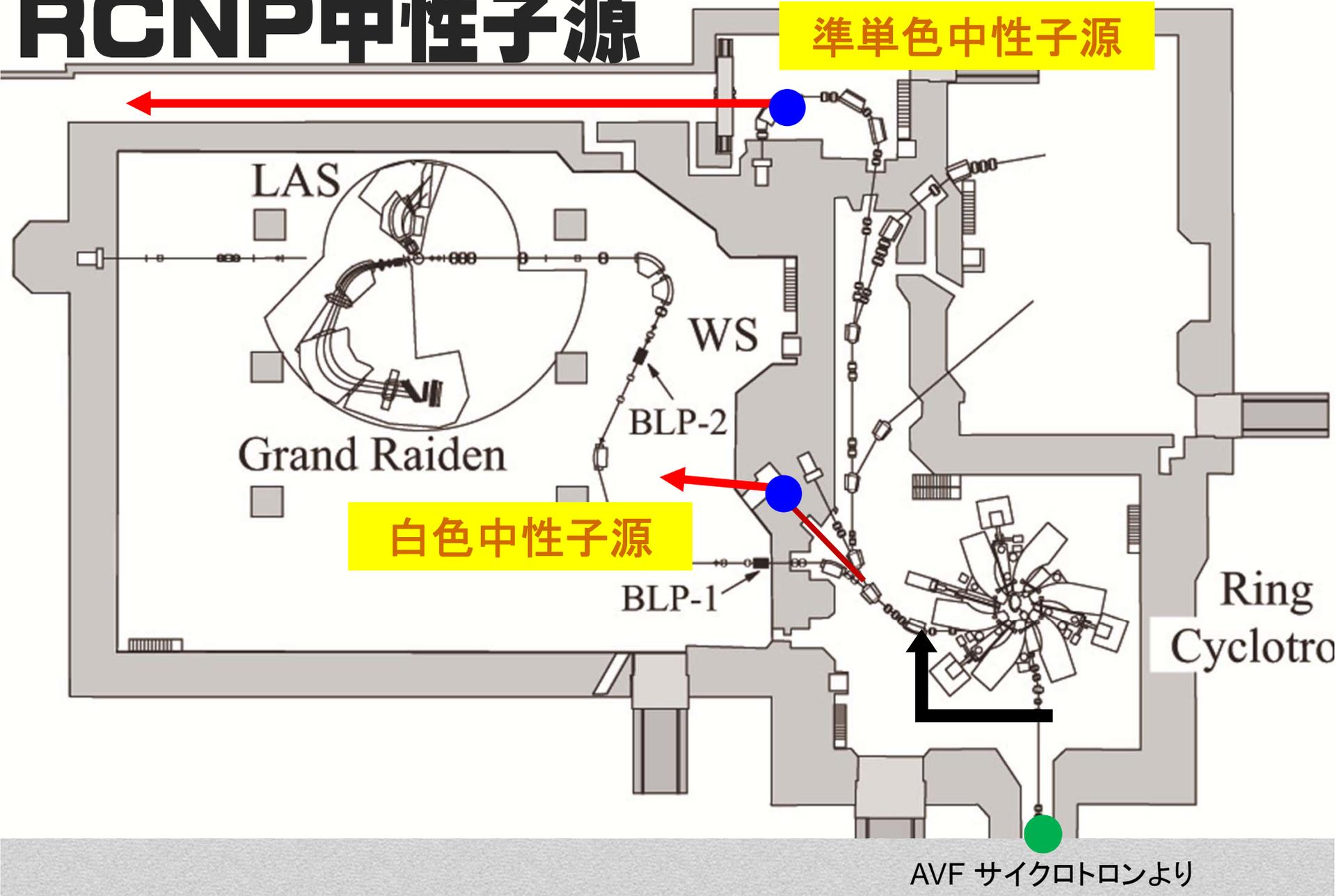
種類	研究所	ビーム、エネルギー
白色	ルーバン新大学 (ベルギー)	重陽子 50 MeV
白色	ロスアラモス (米国)	陽子 800 MeV
白色	TRIUMF (カナダ)	陽子 520 MeV

国内の主な中性子源

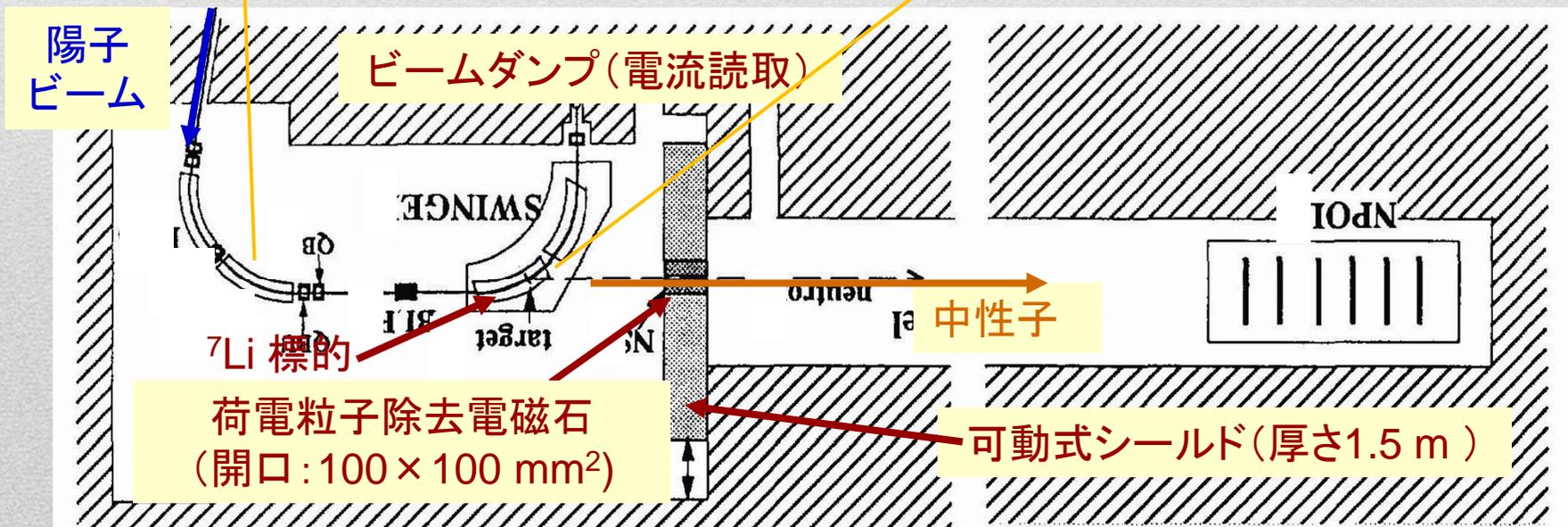
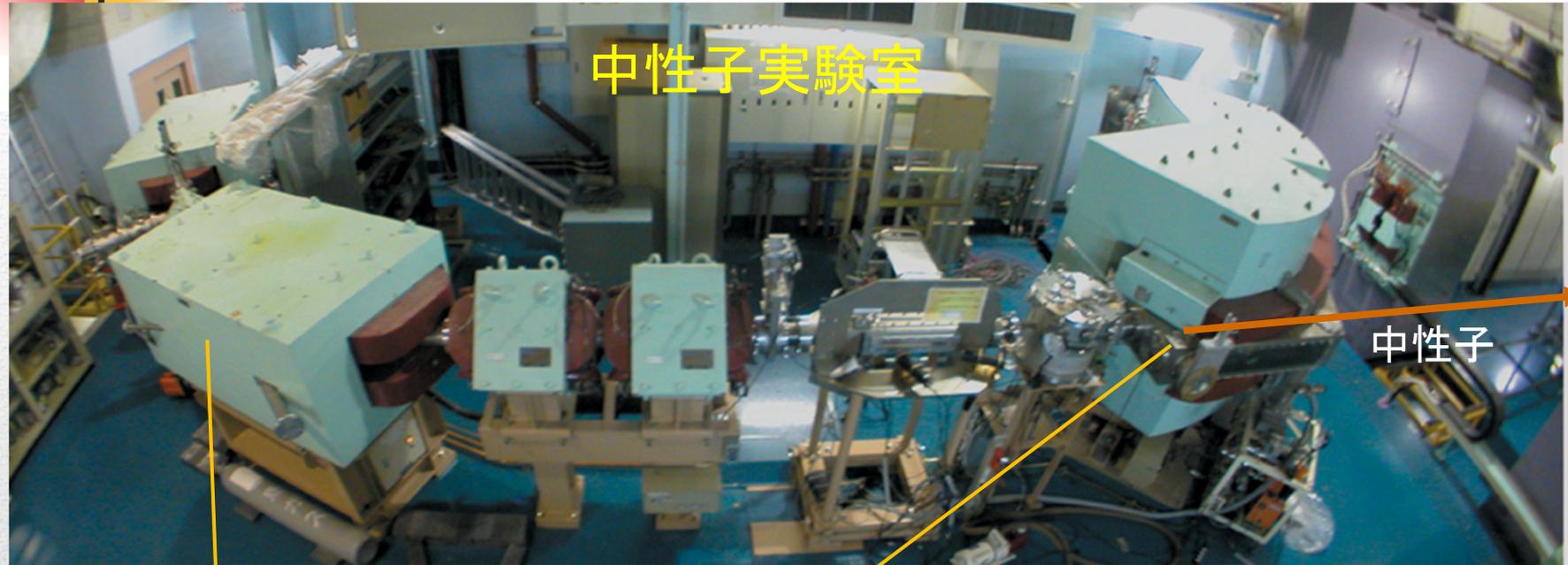


RCNP中性子源

準単色中性子源



RCNP 準単色中性子源



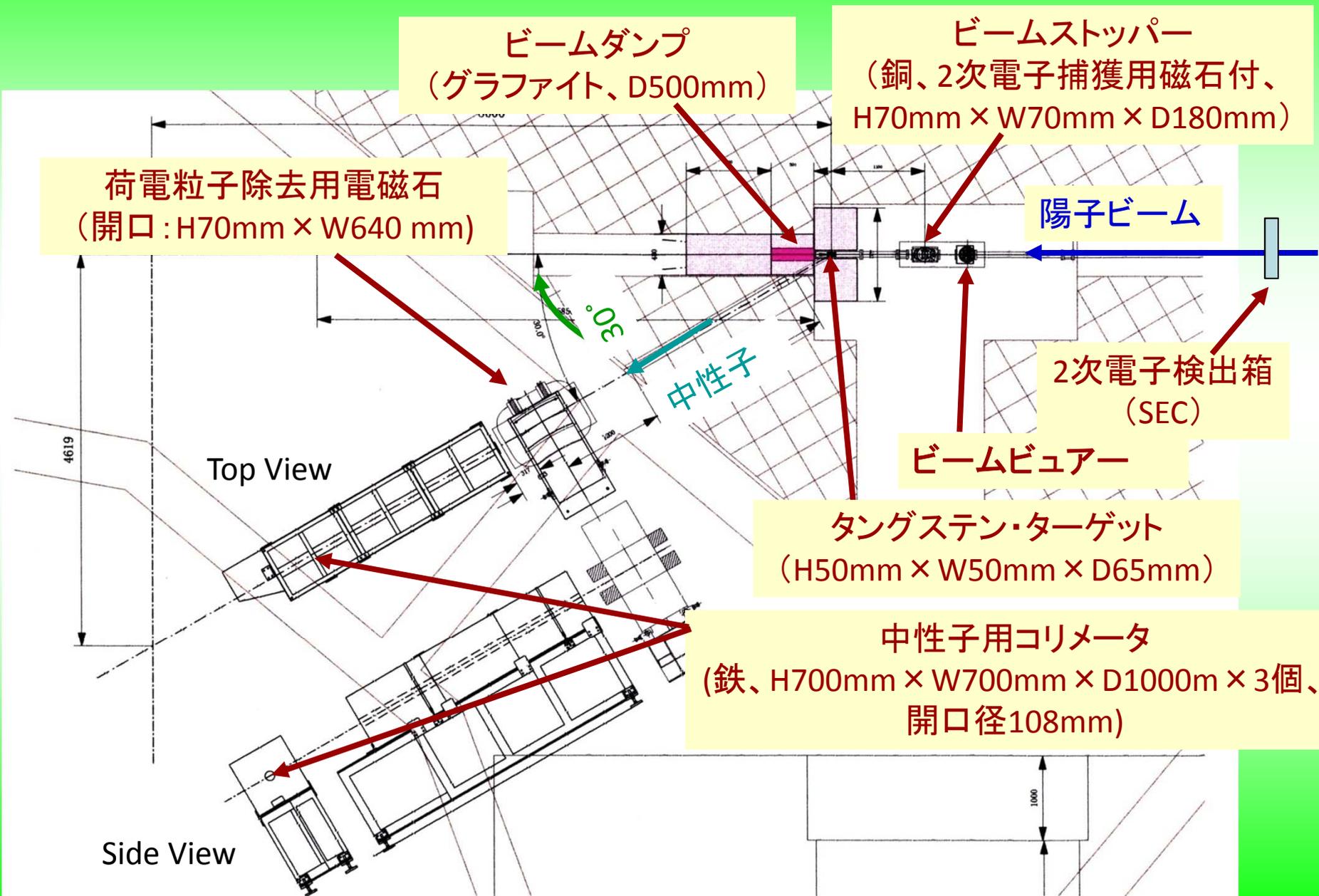
RCNP 白色中性子照射場

中性子

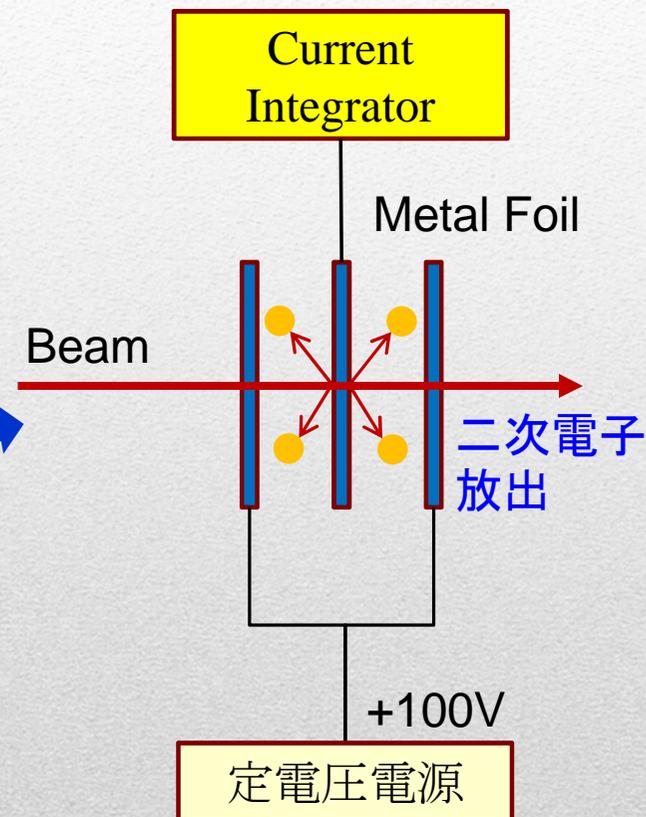
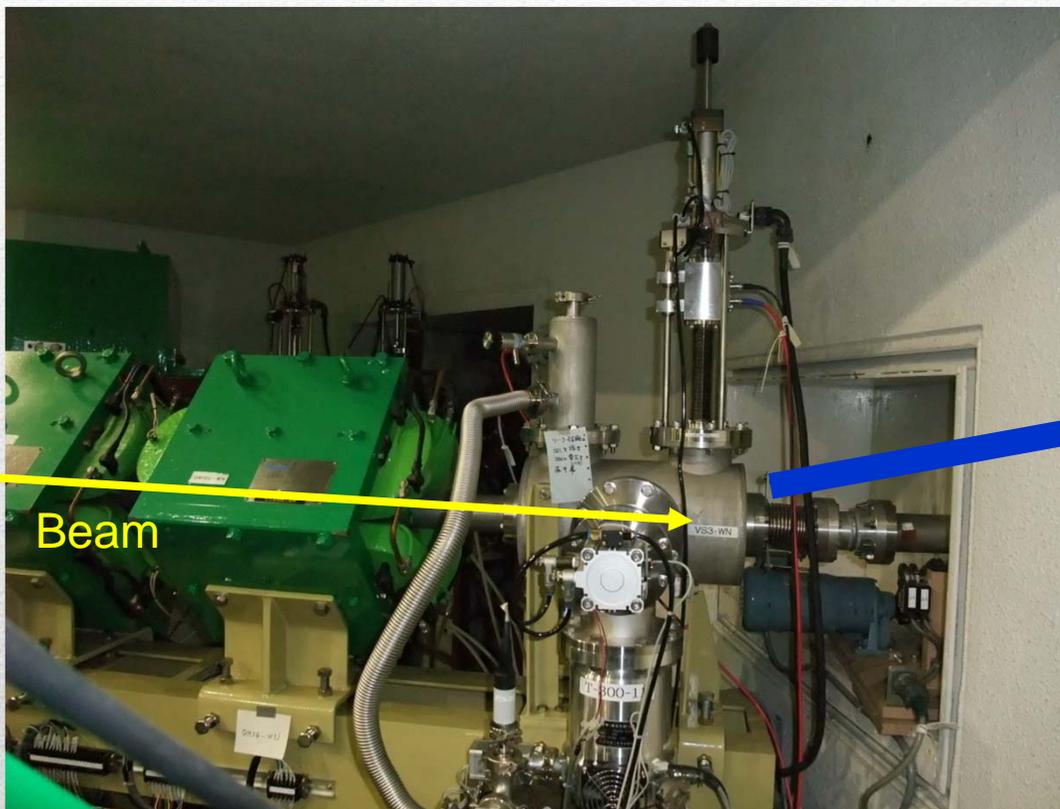
西実験室



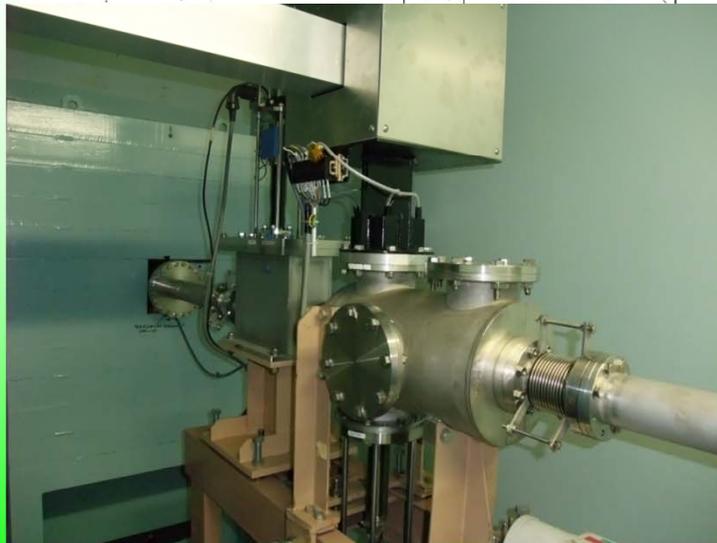
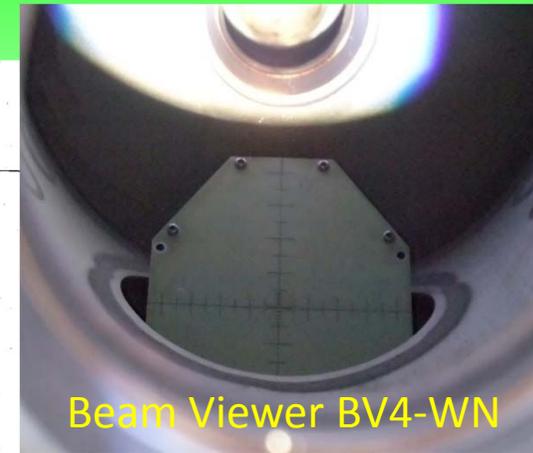
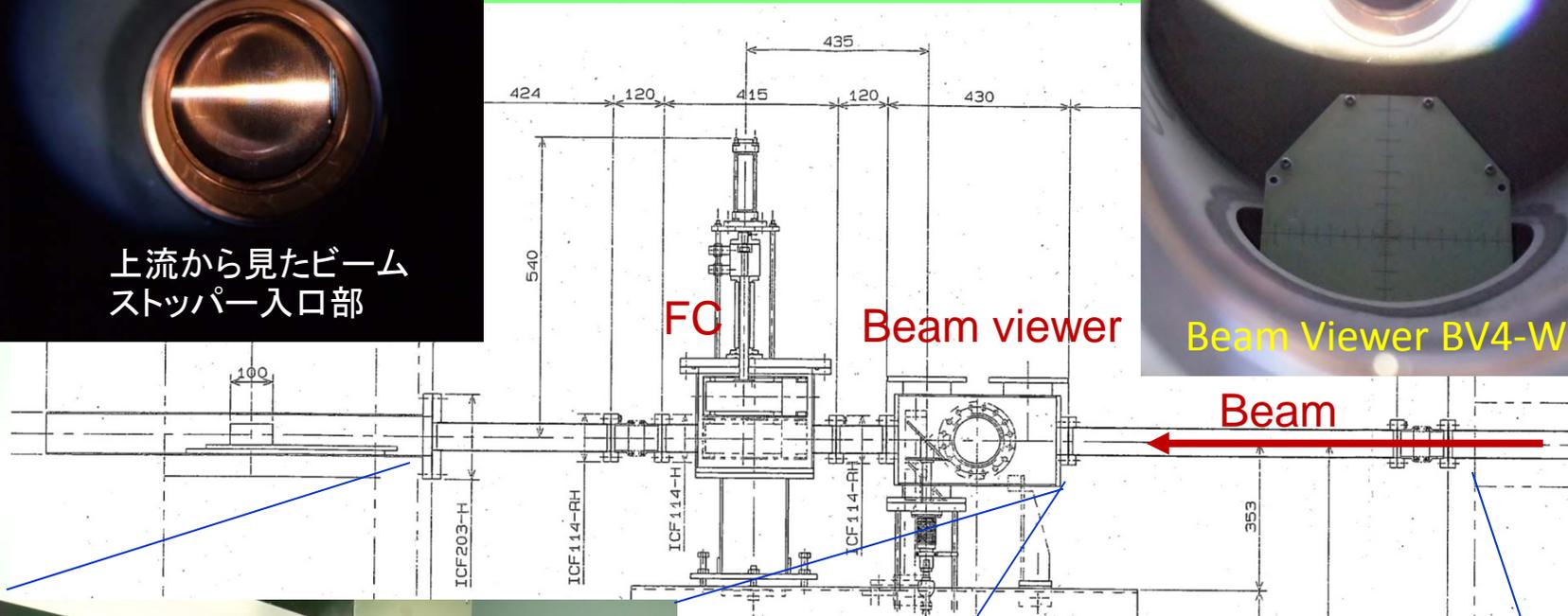
WNコース白色中性子源 機器配置図



照射中のビーム強度モニター： SEC



ターゲット直前のBeam Stopper (FC)とBeam Viewer



中性子生成ターゲットの交換

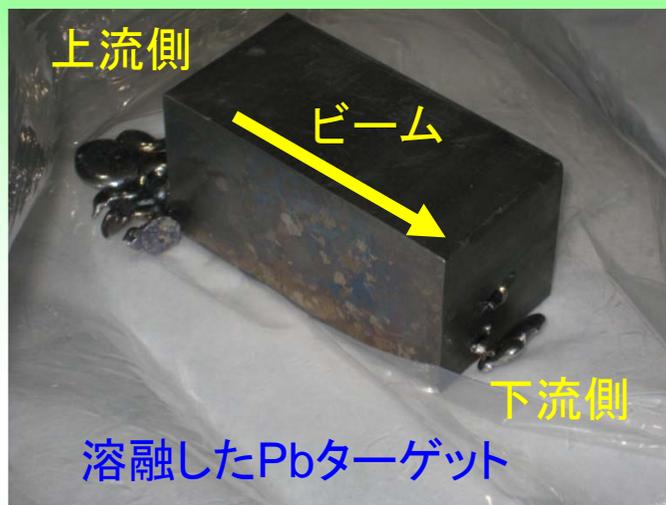
●鉛ターゲットをタングステンターゲットに交換(2007年3月)

鉛ターゲット
(冷却無し)

W50 mm

× H50 mm

× D100mm

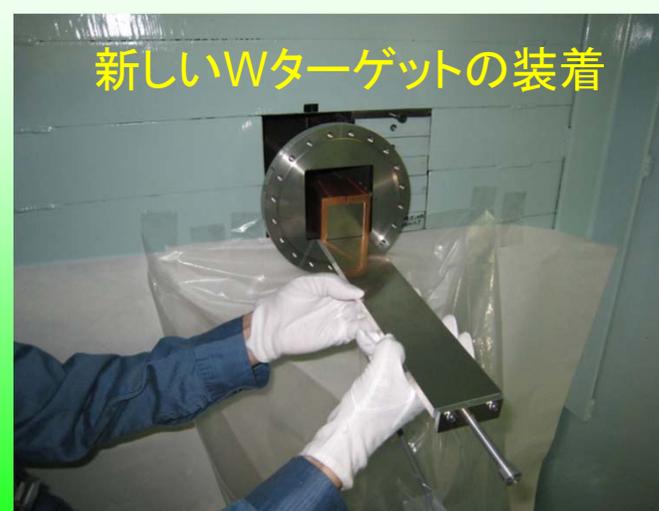
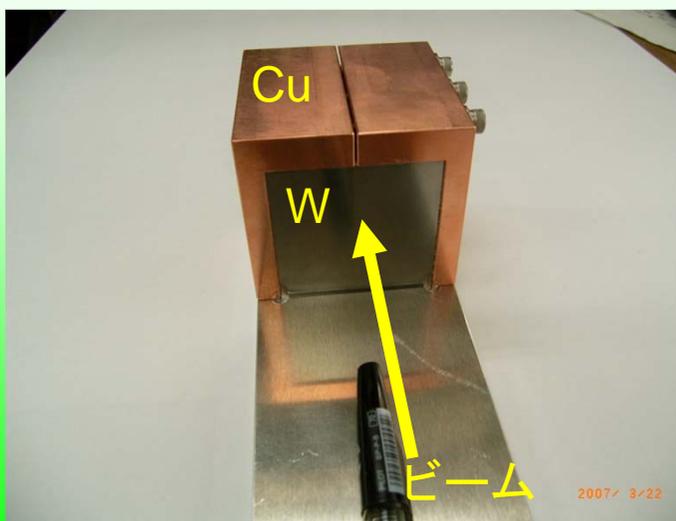


タングステン
ターゲット
(熱伝導によ
り冷却)

W50 mm

× H50 mm

× D65mm

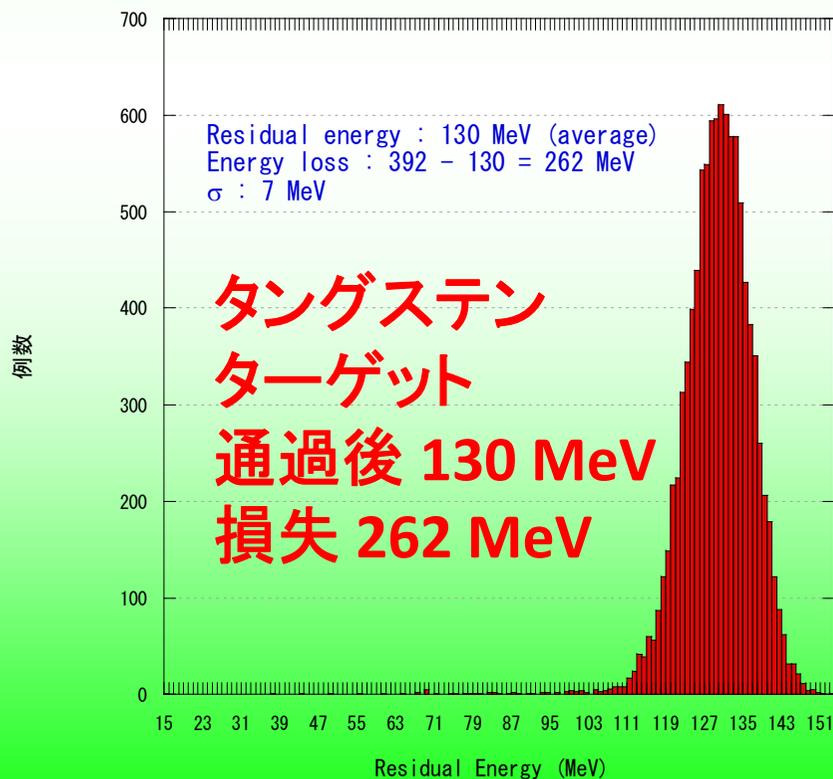


ターゲットでのエネルギーロス

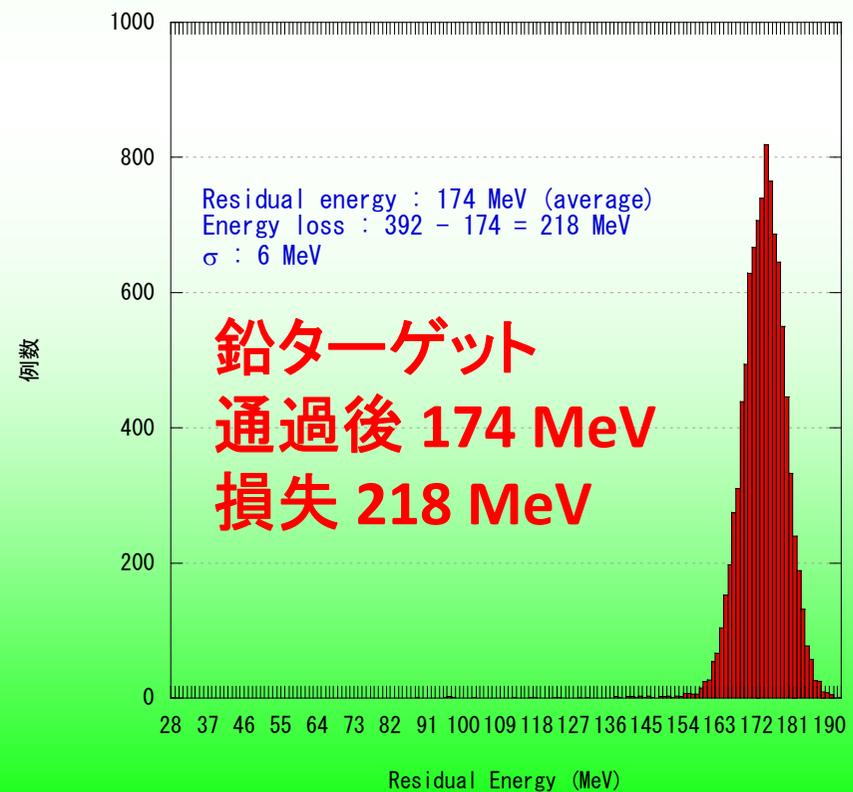
● 392 MeV protonがタングステンターゲット(厚さ65mm)、鉛ターゲット(厚さ100mm)を通過したときのエネルギー分布

- ・SRIM2006によりモンテカルロ計算
- ・ターゲット面に垂直に点入射
- ・10,000個の粒子を飛ばし、ほぼ99.8%の粒子が出口面から出射

Energy after passing through a 65 mm thick tungsten layer



Energy after passing through a 100 mm thick lead layer

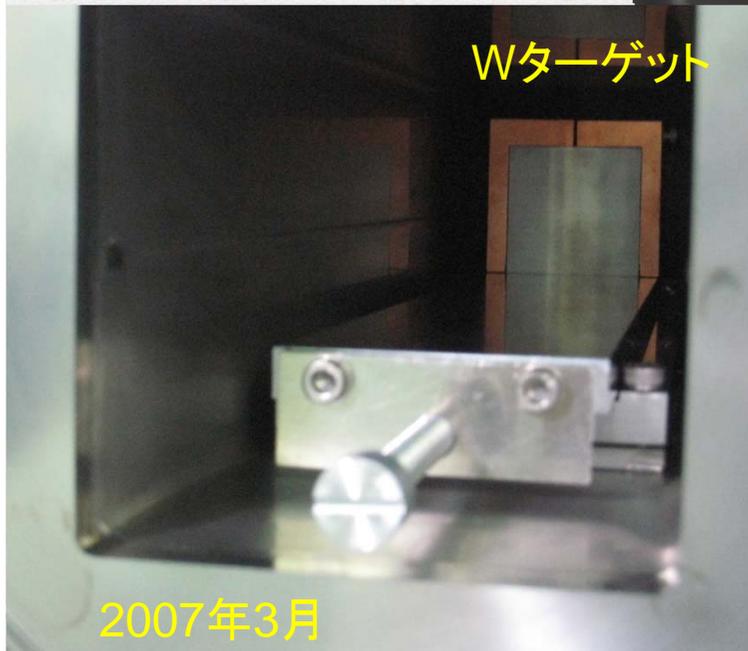


核破碎中性子生成ターゲットの現状

2011年6月時点のタングステン・ターゲット
発熱による影響が多少見られる

Wターゲット

2007年3月



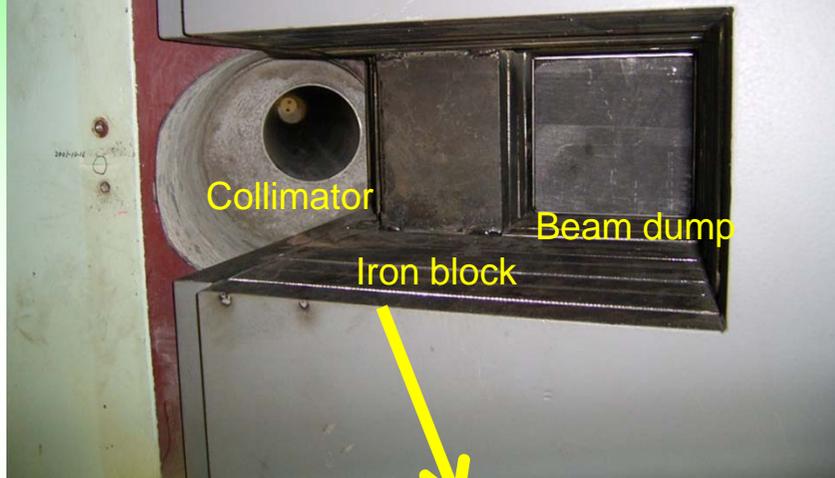
ターゲット周辺のコリメータと遮蔽体

File = dshow2.dat

[t-3dshow]

Date = 09:43 05-Jun-2008

ターゲット位置からビームダンプ(0°)
及びコリメータ(30°)を見る



ターゲットの真横に
鉄シールドを設置

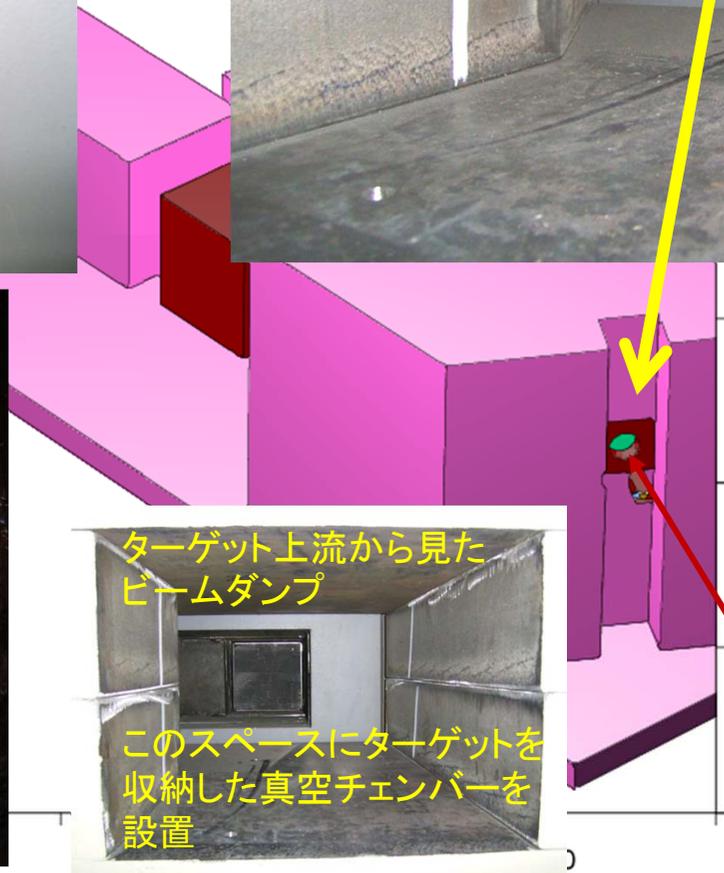


コンクリート壁に大きめの貫通穴を
開け、内径108mmのSUS管を挿入
して位置決めした後その周りをモ
ルタルで埋めた



ターゲット上流から見た
ビームダンプ

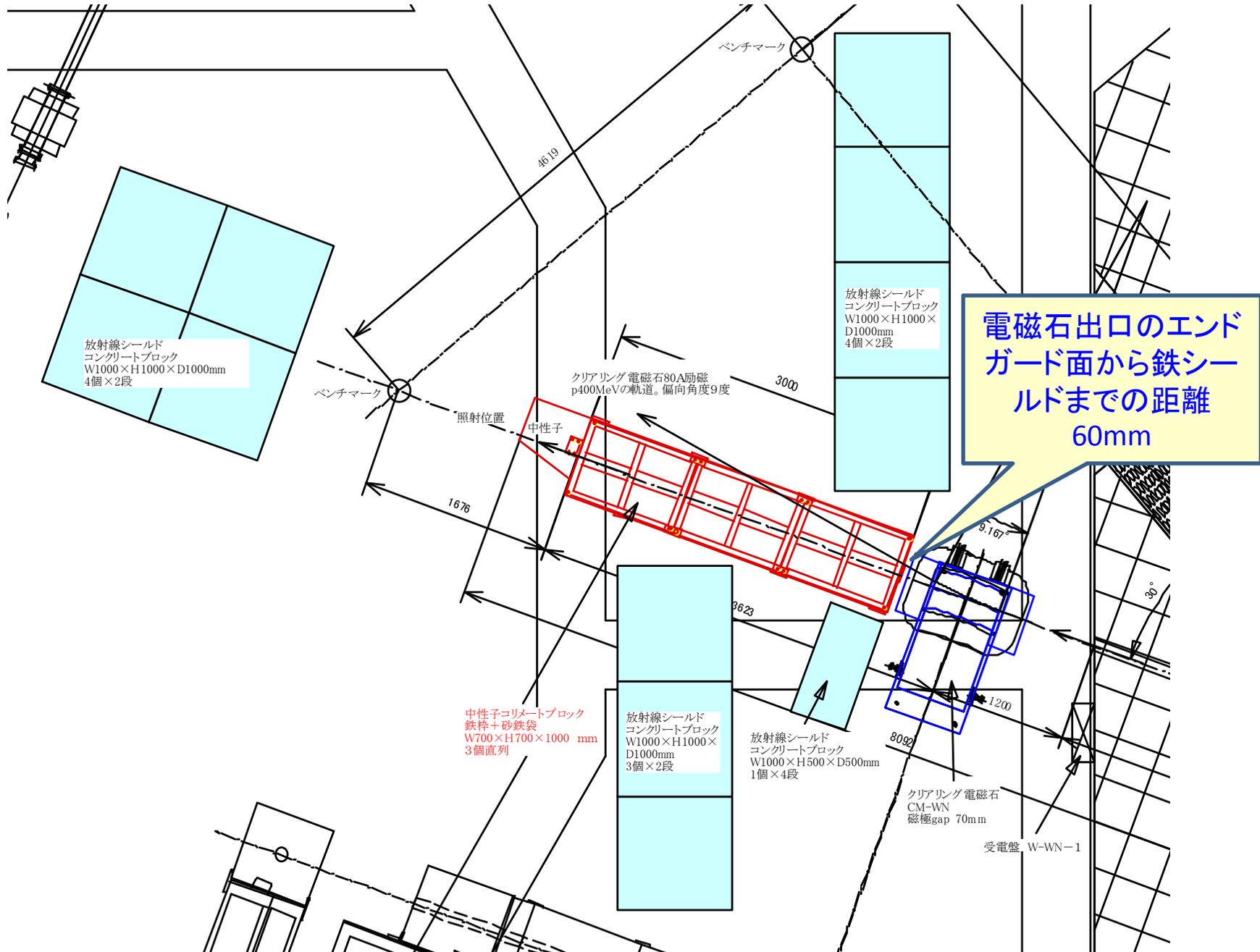
このスペースにターゲットを
収納した真空チャンバーを
設置



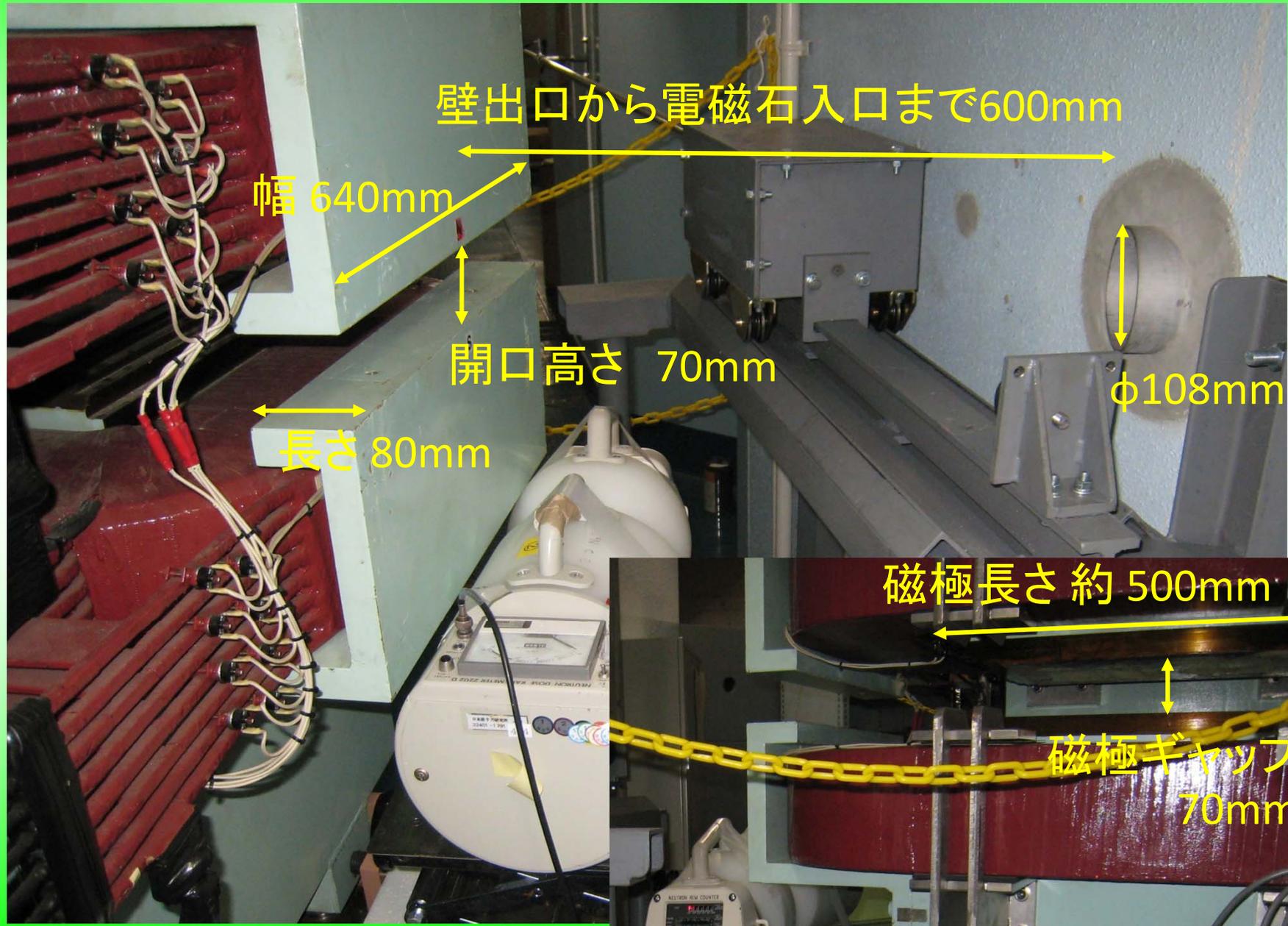
Graphite
NE213

ビーム

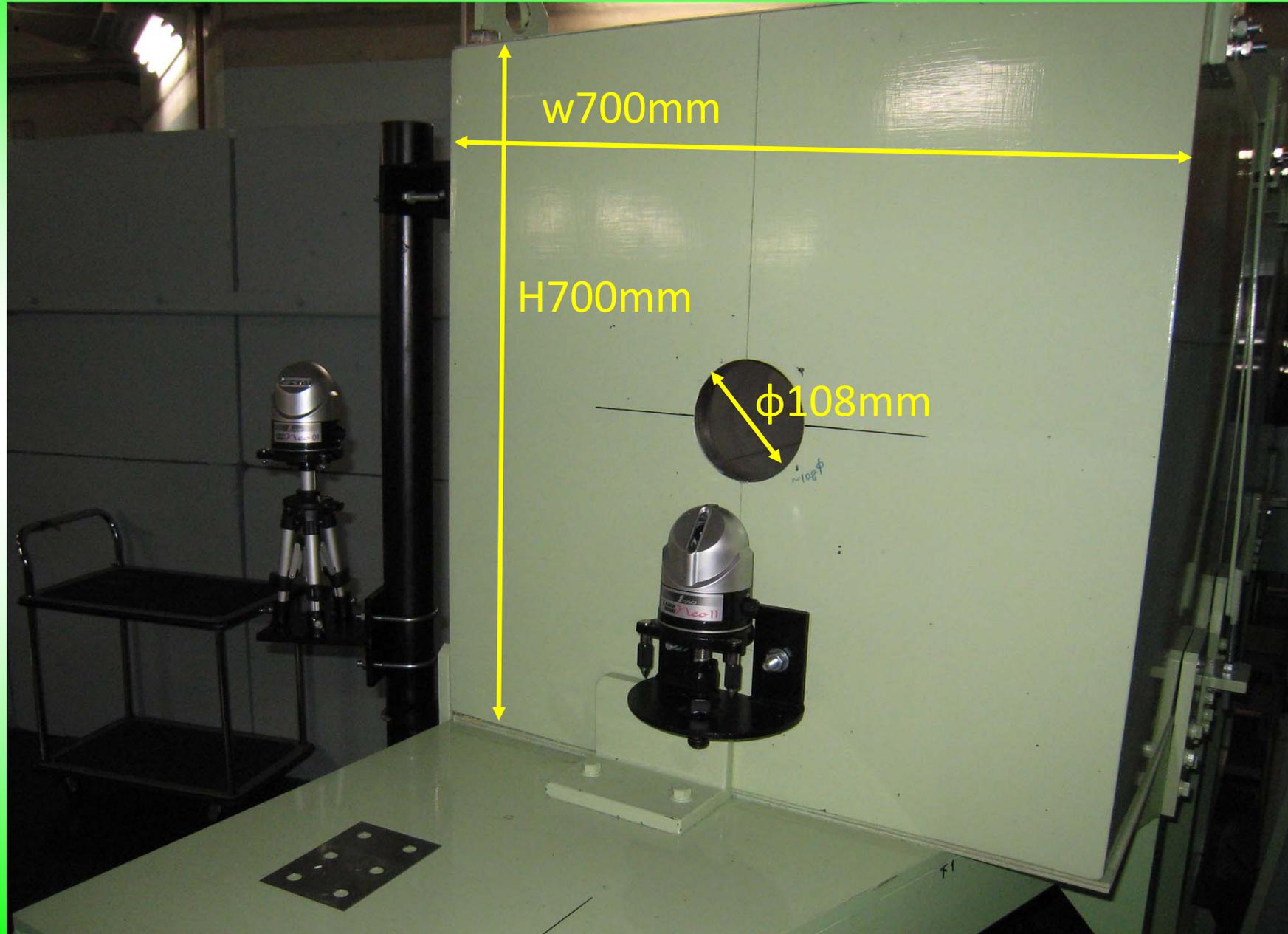
遮蔽体の配置とサイズ



クリアリング電磁石の入口部



中性子コリメータ出口部



中性子エネルギースペクトルの測定



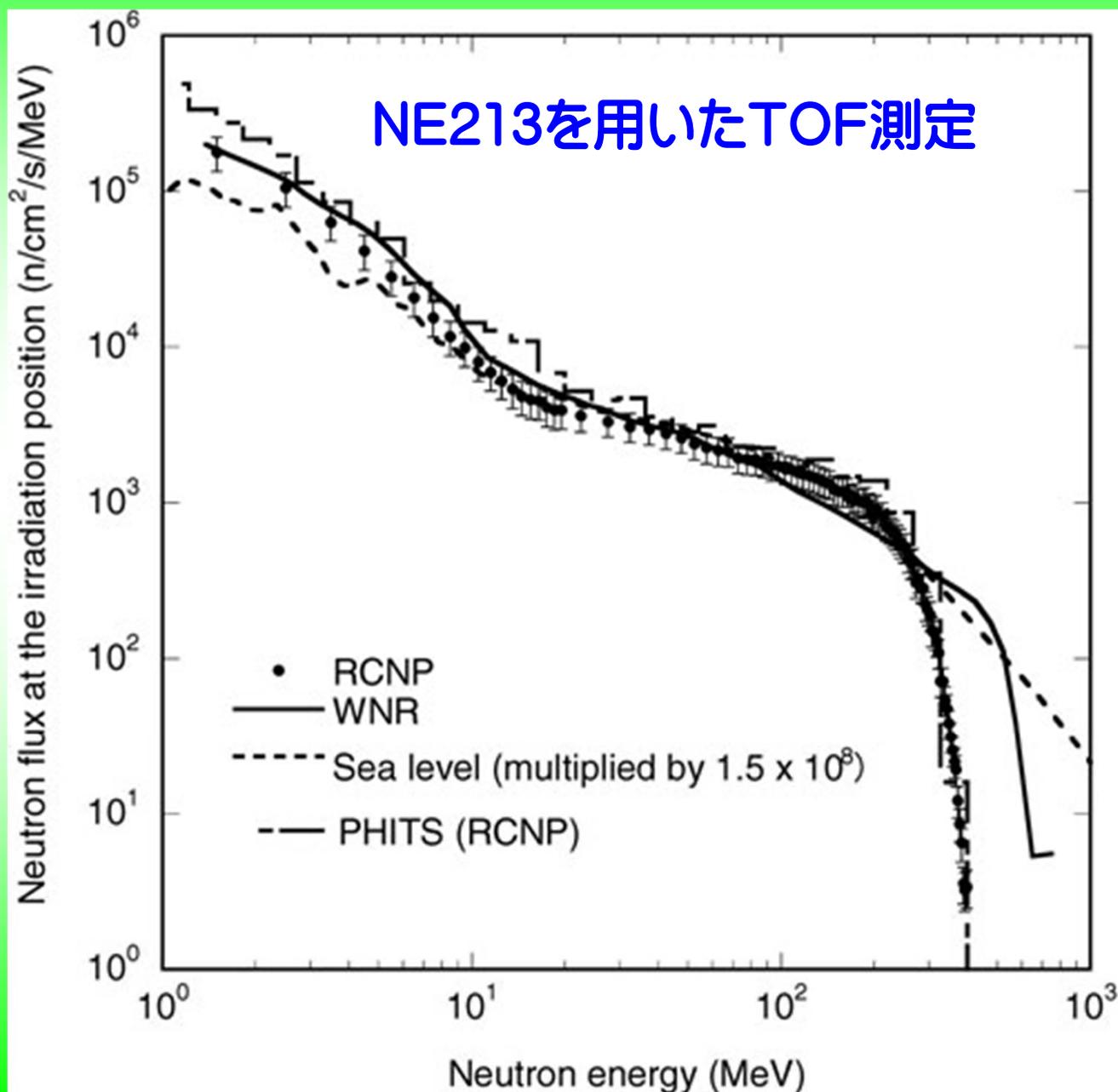
白色中性子エネルギー・スペクトル

392MeV
陽子ビーム
+
タングステン
ターゲット

- ・30° 方向中性子
- ・コリメータ
- Φ108mm

【データの公開】

- ・スペクトルデータを
ファイルで配布可能
- ・論文掲載: Nuclear
Technology, 173
(2011) 210



ま と め

- RCNP AVFサイクロトロンによるRI生成
 - ・ 年間のRI生成実験は～400時間
 - ・ 現状ではビームタイムの制約があり
1～2回／月
(AVFは入射器としての利用が大半)
- 核破砕反応を用いた白色中性子源 (WNコース)
 - ・ 392MeV陽子ビーム + タングステンターゲット
 - ・ 半導体等への中性子照射試験に利用
 - ・ ビームタイムは年に2回程度 (～20日)
 - ・ 白色中性子スペクトルをTOFにより測定済
 - ・ 陽子ビーム強度の増強により、中性子発生量を増やす予定